JOURNAL OF EDUCATION, SCIENCE AND HEALTH – JESH
Revista de Educação, Ciência e Saúde
DOI: https://www.doi.org/10.52832/jesh.v4i1.237
Home page: https://bio10publicacao.com.br/jesh
e-ISSN: 2763-6119

OCORRÊNCIA DE MICROPLÁSTICOS NA ORLA DO RIO JAVARI, EM BENJAMIN CONSTANT, INTERIOR DO AMAZONAS, BRASIL

OCCURRENCE OF MICROPLASTICS IN THE JAVARI RIVER WATERFRONT, IN BENJAMIN CONSTANT, COUNTRYSIDE OF THE AMAZONAS, BRAZIL

PRESENCIA DE MICROPLÁSTICOS EN LA COSTANERA DEL RÍO JAVARI EN BENJAMIN CONSTANT, INTERIOR DEL AMAZONAS, BRASIL

Agmar José de Jesus Silva[1*]; Karen Cristine Braulio da Silva[2]; Tarike Manuel Meneses Tananta[3]; Edson Oliveira dos Santos[4]; Elenilson Silva de Oliveira[5]

[1]Doutor em Ciências (Polímeros) pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Professor de Química da SEDUC/Amazonas; [2,3]Estudantes do Ensino Médio Regular (SEDUC/Amazonas), Bolsistas de Iniciação Científica e Tecnológica Júnior da FAPEAM, Benjamin Constant, Amazonas, Brasil; [5]Licenciado em Ciências Biológicas pela Universidade do Estado do Amazonas (UEA), Professor de Biologia da SEDUC/Amazonas, Benjamin Constant, Amazonas, Brasil; [6]Doutor em Sociedade e Cultura na Amazônia (PPGSCA/UFAM), Professor do Instituto Federal do Amazonas, Tabatinga, AM, Brasil.
*Autor correspondente: agmarster@gmail.com

Recebido: 04/01/2024 | **Aprovado**: 18/03/2024 | **Publicado**: 05/04/2024

Resumo: A poluição por microplásticos em ambientes terrestres e aquáticos é uma preocupação crescente na sociedade contemporânea. Refletindo sobre esta questão, este trabalho teve como objetivo investigar a incidência de microplásticos na região de orla de rio Javari, em Benjamin Constant, Amazonas, Brasil. A pesquisa utilizou o método experimental, associado à técnica de pesquisa de campo. Os materiais foram coletados em diferentes pontos ao longo da orla do rio Javari, em Benjamin Constant. A caracterização foi feita por análise visual dos fragmentos, levando em consideração os parâmetros cor, tipo, forma e comprimento. Em um total de 144 amostras coletadas, foram encontrados não apenas microplásticos, mas também macroplásticos, inclusive em quantidade superior ao número de amostras de microplásticos. Quantitativamente, 16,67% das amostras foram enquadradas como microplásticos, enquanto 83,33% como macroplásticos. Entre as amostras analisadas foram registrados os seguintes tipos: fragmentos, fibras e objetos inteiros. A totalidade de amostras classificadas como microplásticos pertenciam ao tipo fragmentos. Com relação aos macroplásticos, houve a ocorrência de macrofragmentos e macrofibras. No caso dos macrofragmentos, o comprimento médio foi de 20,99 ± 15,56 mm, enquanto para as macrofibras foi de 82,00 ± 22,51 mm. Os microplásticos apresentaram fragmentos de 3,38 ± 1,55 mm. A análise de cores revelou uma pluralidade delas, com destaque para o branco opaco (61,83%) e o azul (21,53%). Os estudantes envolvidos na pesquisa foram capazes de dimensionar o impacto potencial desses materiais no Rio Javari. Além disso, eles relataram avanços significativos em seu aprendizado de Química como resultado de sua participação neste projeto.

Palavras-chave: Degradação ambiental. Micropoluentes. Amazonas. Benjamin Constant.

Abstract: The pollution by microplastics in terrestrial and aquatic environments is a growing concern in contemporary society. Reflecting on this issue, this work aimed to investigate the incidence of the microplastics in the Javari River waterfront, in Benjamin Constant, Amazonas, Brazil. The research used the experimental method, associated with the field research technique. The materials were collected at different points along of the Javari River waterfront, in Benjamin Constant. The characterization was carried out by visual analysis of the fragments, taking into account the parameters color, type, shape, and length. In a total of 144 samples collected, not only microplastics were found, but also macroplastics, including in quantities greater than the number of microplastic samples. Quantitatively, 16.67% of the samples were classified as microplastics, while 83.33% as macroplastics. Among the samples analyzed, the following types were recorded: fragments, fibers, and whole objects. All the samples classified as microplastics belonged to the fragment type. As for macroplastics, there were macrofragments and macrofibers. Macrofragments averaged 20.99 ± 15.56 mm in length, while macrofibers, 82.00 ± 22.51 mm. The microplastics had fragments with an average length of 3.38 ± 1.55 mm. The color analysis revealed a plurality of them, with opaque white (61.83%) and blue (21.53%) standing out. The students

who took part in the research were able to gauge the potential damage of these materials to the Javari River, and reported improvements in their chemistry learning as a result of taking part in this project.

Keywords: Environmental degradation. Micropollutants. Amazonas. Benjamin Constant.

Resumen: La contaminación por microplásticos en ambientes terrestres y acuáticos es una preocupación creciente en la sociedad contemporánea. Así, este estudio tuvo como objetivo investigar la incidencia de microplásticos en la costanera del Río Javari, en Benjamin Constant, Amazonas, Brasil. La investigación utilizó el método experimental, asociado a la técnica de investigación de campo. Los materiales fueron recolectados en diferentes puntos de la costanera del río Javari, en Benjamin Constant. La caracterización se llevó a cabo mediante el análisis visual de los fragmentos, según los parámetros de color, tipo, forma y longitud. De las 144 muestras recogidas, no sólo se encontraron microplásticos, sino también macroplásticos, incluso en cantidades superiores al número de muestras de microplásticos. Cuantitativamente, el 16,67% de las muestras se clasificaron como microplásticos, mientras que el 83,33% como macroplásticos. Entre las muestras analizadas, se registraron los siguientes tipos: fragmentos, fibras y objetos enteros. Todas las muestras clasificadas como microplásticos pertenecían al tipo fragmento. En cuanto a los macroplásticos, había macrofragmentos y macrofibras. Los macrofragmentos tenían una longitud media de 20,99 ± 15,56 mm, mientras que las macrofibras, 82,00 ± 22,51 mm. Los microplásticos tenían fragmentos de 3,38 ± 1,55 mm. El análisis del color reveló una pluralidad de ellos, destacando el blanco opaco (61,83%) y el azul (21,53%). Los alumnos que participaron en la investigación fueron capaces de evaluar el impacto potencial de estos materiales para el Río Javari. Además, informaron de avances significativos en su aprendizaje de la química como resultado de su participación en este proyecto.

Palabras-clave: Degradación ambiental. Microplásticos. Amazonas. Benjamin Constant.

1. INTRODUÇÃO

Pesquisas recentes realizadas no Brasil e no mundo vêm relatando o agravamento da poluição ambiental, principalmente de ecossistemas aquáticos (rios, mares, lagos e oceanos), pela presença de resíduos sólidos poliméricos com tamanho inferior a 5 mm, os quais são denominados de microplásticos (ou MPs) (Andrady, 2011; Cole *et al.*, 2011; Olivatto *et al.*, 2018; Monteiro *et al.*, 2020; Belo *et al.*, 2021; Da Silva, *et al.*, 2021; Montagner *et al.*, 2021; Mota, Batista & De Oliveira Cunha, 2021; Da Silva, *et al.*, 2022; Yusuf *et al.*, 2022; Gomes *et al.*, 2023).

Segundo Olivatto *et al.* (2018), a polução ambiental por plásticos e microplásticos representa hoje o fator antropogênico que mais agride a biodiversidade a nível mundial. Por exemplo, microplásticos no organismo dos animais podem ocasionar a morte destes por desnutrição, devido a uma falsa sensação de saciedade. Além disso, Mota, Batista & De Oliveira Cunha (2021) reportam que pode ocorrer obstrução do trato gastrointestinal, que associada ao quadro de desnutrição, pode levar os organismos aquáticos a sofrerem danos físicos graves, como úlceras pépticas, desgaste de órgãos e deterioração do sistema reprodutivo (por alterações hormonais).

Pegado *et al.* (2018) analisaram a presença de partículas de microplásticos no trato gastrointestinal de peixes coletados no rio Amazonas (em um trecho de região envolvendo os estados do Amapá e Pará/Brasil), e encontraram poliamida (naylon), rayon (viscose) e polietileno em 30% das espécies de peixes analisadas, comprovando a contaminação dos organismos destes peixes por microplásticos com tamanhos variando de 0,38 a 4,16 mm.

Mota, Batista & De Oliveira Cunha (2021) e Belo *et al.* (2021) enfatizam a elevada capacidade de adsorção, pelos microplásticos, de substâncias perigosas à saúde a humana, como é caso dos metais e dos poluentes orgânicos persistentes (POPs). Estes autores descrevem que tais poluentes já foram encontrados

inclusive em produtos do nosso uso rotineiro, e.g., sal de cozinha, açúcar, água mineral e de torneira, entre outros.

Sabe-se, ademais, que essas substâncias são facilmente adsorvíveis nas superfícies hidrofóbicas dos microplásticos, podendo sofrer posterior dessorção para camadas lipídicas da biota de rios, mares e oceanos (Andrady, 2011). Além desses problemas, há riscos de liberação de aditivos químicos dos materiais plásticos por processos de lixiviação desses aditivos a partir da matriz polimérica quando se atinge o coeficiente difusão dessas substâncias, o que ocorre devido à ação do tempo e da temperatura. Essas substâncias, após liberados no organismo podem ocasionar desde efeitos tóxicos, doenças respiratórias e cardiovasculares, até câncer de pulmão (Olivatto *et al.*, 2018).

O problema dos microplásticos é tão grave que estes materiais já foram encontrados até mesmo em lugares bastantes reservados da natureza, tais como os solos de mangues da "Baía de Todos os Santos" (Bahia, Brasil), conforme relatado por Da Silva Paes *et al.* (2022).

Olivatto *et al.* (2018) explicam que os microplásticos encontrados no meio ambiente são classificados como primários ou secundários. Os microplásticos primários são os que se originam de plásticos produzidos industrialmente e já em tamanhos microscópicos, visando compor formulações de alguns produtos, e.g., cosméticos, sabonetes esfoliantes, cremes dentais abrasivos, ou ainda, fibras plásticas microscópicas utilizadas pela indústria de tecidos sintéticos (Olivatto *et al.*, 2018; Mesquita *et al.*, 2022). A própria matéria-prima utilizada pelas indústrias de processamento de material plástico, chamada de *pellets* (grânulos pequenos de polímeros oriundos de síntese química feita nas fábricas de polimerização) (Silva, 2020), se encaixa na categoria de microplásticos, e frequentemente poluem o meio ambiente ao serem perdidos acidentalmente em etapas de transporte ou processamento, atingindo assim ecossistemas aquáticos devido à ação de agentes naturais como vento e chuva.

Já os microplásticos secundários se originam da fragmentação de macroplásticos (Montagner *et al.*, 2021), que nada mais são do que objetos plásticos comuns e conhecidos do dia a dia das pessoas. Os macroplásticos são constituídos majoritariamente por polímeros termoplásticos, i.e., aqueles que podem ser fundidos e reprocessados conservando suas principais propriedades físico-mecânicas e químicas (Mano & Mendes, 1999; Canevarolo Jr, 2001; De Jesus Silva, 2017).

O processo de fragmentação (ou redução sucessiva de tamanho) ocorre em produtos como frascos, embalagens em filme e brinquedos termoplásticos descartados de maneira incorreta na natureza, e resultam da atuação combinada de diversos fatores ambientais, incluindo radiação ultravioleta, presença de oxigênio, mudanças de temperatura, umidade, ação mecânica das ondas e contato com contaminantes e microrganismos (Olivatto *et al.*, 2018), originando assim os microplásticos. Contudo, é importante ressaltar que a fragmentação é dependente também do tipo de polímero e de sua aditivação no processamento inicial (Olivatto *et al.*, 2018). Em solo firme, como é o caso do ambiente das cidades, atrito e impacto mecânico também são fatores que promovem a geração de microplásticos a partir de objetos plásticos de escala macroscópica.

Araújo Neto (2023) prevê que, caso medidas emergenciais não sejam tomadas a nível mundial, poderá se formar, em um futuro breve, um "mar de plásticos" no planeta, i.e., a consolidação de um ambiente aquático inóspito, com a existência de mais plásticos do que peixes ou outros animais.

Lima (2012) reporta que o descarte de materiais plásticos no meio ambiente de cidades, após a vida útil deles, vem sendo feito de forma inadequada e intensiva em muitas regiões do País, inclusive em plena região Amazônica, como é o caso da Capital Manaus.

Braulio (2020) realizou uma avaliação da qualidade da água do Igarapé Esperança, um dos principais corpos d`água de Benjamin Constant, e que desagua diretamente no rio Javari, o qual abrange a área portuária da cidade e forma a orla da mesma. Foi constatado que a água do Igarapé se encontrava, no momento da pesquisa, com a qualidade bastante comprometida, o que se devia principalmente ao despejo de esgotos residenciais em seu leito. Também foram encontradas grandes quantidades de resíduo sólido polimérico na forma de embalagens diversas descartadas no leito do Igarapé, contribuindo para a degradação de seu ecossistema aquático ao eliminar nele restos de substâncias químicas variadas. A intensa poluição desse Igarapé pelo descarte inadequado de resíduos sólidos, principalmente poliméricos, vem sendo confirmada e relatada também em trabalhos recentes de outros pesquisadores locais (Silva *et al.* 2022; Gomes *et al.* 2023; De Jesus Silva & De Souza Dias, 2023).

Benjamin Constant é uma cidade de destaque econômico e cultural que está inserida em um trecho da região amazônica conhecido como Alto Solimões, situando-se nas proximidades da chamada tríplice fronteira amazônica (Brasil, Peru e Colômbia). A cidade se consolidou numa porção territorial à margem direita do rio Javari, e possui uma rica mistura de povos das culturas Brasileira, Peruana e Colombiana. Atualmente concentra, além de um fluxo considerável de turistas e comerciantes, estudantes de muitas cidades vizinhas devido à presença de um campus da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), o qual se encontrada instalado nas dependências do Instituto de Natureza e Cultura (INC). Contudo, conforme Higuchi *et al.* (2011) e De Azevedo (2016), a cidade dispõe de uma frágil infraestrutura urbana, característica comum de cidades do interior amazonense, as quais em sua maioria não dispõem de coleta e tratamento adequado de esgoto sanitário, assim como não possuem estruturas de coleta seletiva ou programas eficientes de reciclagem de seus resíduos sólidos urbanos. No caso específico de Benjamin Constant, outros autores ainda mais recentes também vêm relatando o agravamento no quadro de degradação ambiental desse município nos últimos anos (De Araújo *et al.* 2019; De Melo, Lima & De Araújo Pantoja, 2019; De Jesus Silva & De Souza Dias, 2023). Nesse sentido, De Jesus Silva & De Souza Dias (2023) pontuam que:

> [...] Os fatores acima, somados a outros, tais como o crescimento populacional e do comércio, e a ausência de uma cultura de reuso/reciclagem de materiais no município, podem estar contribuindo para a degradação acelerada do meio ambiente local, incluindo rios e igarapés. (De Jesus Silva & De Souza Dias, 2023, p. 3).

Dessa forma, observa-se que o rio Javari vem sendo afetado negativamente pela ação antrópica em Benjamin Constant. Consequentemente, a saúde e a qualidade de vida da população local estão sendo

prejudicadas, por exemplo, pela concentração de resíduos sólidos poliméricos, metais pesados e esgotos residenciais despejados nesse rio (De Araújo *et al.*, 2021; De Jesus Silva & De Souza Dias, 2023). Como afluente direto do rio Solimões (nome que se dá ao rio Amazonas nessa região), o Javari transfere diariamente parte de sua carga de macro e microplásticos ao rio Amazonas, formando um lamentável elo de poluição ambiental em uma região que deveria ser símbolo de preservação ambiental.

Portanto, um assunto de tamanha complexidade científica e importância tanto nacional quanto internacional, torna-se um tema de pesquisa que requer investigações científicas não apenas no âmbito acadêmico (universitário), mas também no ensino médio.

Isso porque, seja na universidade ou na escola, a pesquisa "é um dos pilares do processo de construção de saberes, e contribui para o avanço da ciência e para o desenvolvimento social" (Lima, 2023, p. 10). Assim como aulas experimentais são fundamentais no Ensino de Química (Silva *et al.*, 2021; De Jesus Silva & Da Silva Egas, 2022), a pesquisa também o é, pois ela fortalece a relação entre a teoria e a prática, resultando na melhoria da formação escolar e profissional dos estudantes. Nesse sentido, a iniciação científica (IC), que é uma das formas de se fazer pesquisa no meio escolar, "coloca-se como uma possibilidade pedagógica de inserir a investigação no contexto escolar" (Lima, 2023, p. 12), fortalecendo o protagonismo dos aprendizes na produção de seu próprio conhecimento.

Embora a IC nas escolas estado do Amazonas e de muitos outros estados brasileiros não seja concebida ainda como um componente curricular obrigatório do ensino médio regular, o governo do Amazonas, por meio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (Fapeam), tem proporcionado anualmente editais para professores e alunos de escolas públicas estaduais e escolas municipais de Manaus participarem do chamado Programa Ciência na Escola (PCE) (Fapeam, 2023). O PCE é um programa de iniciação à pesquisa científica e tecnológica criado pela Fapeam, o qual é voltado exclusivamente à participação de professores e estudantes do Amazonas em projetos de pesquisa científica e de inovação tecnológica a serem desenvolvidos no âmbito das escolas. Entre seus principais objetivos estão a formação continuada dos professores e o fortalecimento processo de ensino e aprendizagem realizado com os estudantes nas escolas, despertando neles vocação científica e visão crítica sobre questões de impacto da sociedade moderna.

Nesse contexto, este trabalho se justifica pela possibilidade de levantar informações científicas referentes aos tipos de microplásticos que estão sendo gerados e acumulados no leito e margens do rio Javari, no seu trecho que passa por Benjamin Constant/AM. Para o poder público local, essas informações poderão ser úteis na criação e/ou aprimoramento de políticas públicas de gestão integrada dos resíduos sólidos locais, auxiliando na prevenção da poluição ambiental e na proposição de estratégias de reutilização e/ou reciclagem para o município. Para os estudantes envolvidos representa uma imersão em um dos muitos setores de pesquisa da área das ciências exatas e da natureza, a qual é cheia de desafios e possibilidades de aprendizagem e crescimento humano, escolar e profissional.

Nesse sentido, este trabalho teve como objetivo geral investigar a incidência de microplásticos na região de orla de rio Javari, em Benjamin Constant, Amazonas, Brasil. Já os objetivos específico foram: *i)* Coletar microplásticos existentes na orla do rio Javari, em Benjamin Constant/AM; *ii)* Caracterizar os fragmentos, por

inspeção visual, de acordo com os parâmetros cor, tipo, forma e comprimento; *iii)* Com base nos materiais encontrados e em suas características, descrever os possíveis impactos ambientais resultantes da presença desses microplásticos no rio Javari, e discutir alternativas ambientalmente corretas e sustentáveis no sentido de evitar a continuidade do problema em questão, e *iv)* Relatar a importância desta pesquisa de iniciação científica no fortalecimento da formação em nível de ensino médio dos estudantes que a desenvolveram.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Agentes da pesquisa

Este trabalho foi desenvolvido por dois estudantes concluintes do Ensino Médio Regular da Escola Estadual Imaculada Conceição, situada em Benjamin Constant, Amazonas, Brasil, e contou com a supervisão e orientação profissional de um professor de Química da referida escola. Os estudantes receberam bolsas de iniciação científica e tecnológica júnior da FAPEAM (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas), e trabalharam por um período de 5 meses completos e consecutivos no projeto, sob a supervisão do professor responsável.

2.2. Caracterização do estudo

Nesta pesquisa, empregou-se uma abordagem experimental com características quali-quantitativas, método amplamente adotado no campo das ciências naturais, conforme indicado por Figueiredo e Souza (2008). Com relação às técnicas de pesquisa, foram utilizadas pesquisa bibliográfica e pesquisa de campo (dos tipos quantitativo-descritiva, exploratória e experimental). A coleta de dados foi conduzida utilizando o procedimento de amostragem aleatória simples, garantindo assim a representatividade e a imparcialidade da amostra selecionada para o estudo.

2.3. Local da pesquisa

As amostras de materiais plásticos (resíduo sólido polimérico) foram coletadas ao longo de uma área de várzea com cerca de 1.000 m^2 (~ 10 m x 100 m de perímetro), formada ao longo da orla do rio Javari, no município de Benjamin Constant, Amazonas, Brasil, como mostrado na imagem de satélite da Figura 1. Já a Figura 2 apresenta uma fotografia (imagem real) do trecho da área pesquisada. A coleta de materiais em campo foi realizada na data de 05 de novembro de 2022, na região de área de várzea supracitada.

Figura 1 – Imagem de satélite da área de várzea acessada na orla do rio Javari, em Benjamin Constant-AM.



Fonte: Elaborada pelos autores a partir do software *Google Earth* (2023).

Figura 2 – Imagem real de um trecho da área de várzea formada na orla do rio Javari, em Benjamin Constant-AM.



Fonte: Autores (2023).

É importante mencionar que essa região de orla coincide também com o local da área portuária da cidade. Esta área de várzea no leito do rio é formada anualmente, com a chegada do período de estiagem, quando o nível de água do rio baixa consideravelmente, expondo extensas faixas de terra ou areia que antes estavam submersas durante o período das chuvas (inverno amazônico). Conforme Silva *et al.* (2022), a cidade de Benjamin Constant está situada no extremo Oeste do Estado do Amazonas (distando 1.121 km até a capital Manaus, em linha reta, e 1.537 km por rota fluvial), estabelecendo-se à margem direita do rio Javari. O município (Figura 3, no canto esquerdo inferior, e hachurado em amarelo) faz fronteira ao Norte com o município de Tabatinga e o Peru, ao Sul com Eirunepé e Ipixuna, a Leste com São Paulo de Olivença e Jutaí, e a Oeste com Atalaia do Norte.

Figura 3 – Localização da cidade Benjamin Constant nos mapas do Brasil e do Amazonas.



Fonte: Adaptada de www.sedecti.am.gov.br (2023).

2.4. Metodologia da pesquisa

Para coleta de amostras utilizou-se uma peneira de aço com tela fina e com 1,0 mm abertura (diâmetro), uma pá metálica (de jardinagem) e um balde plástico pequeno para armazenamento das amostras. A peneira foi útil no processo de separação das amostras de materiais plásticos quando misturadas ao solo (o que ocorria em algumas situações). Após a fase de coleta, procedeu-se à caracterização das amostras.

A caracterização do material coletado em campo consistiu em uma análise visual dos fragmentos, também denominada de "inspeção visual", conforme descrito por Montagner *et al.* (2021, p. 1336). Neste contexto, a análise foi realizada de acordo com os parâmetros cor, tipo de fragmento, forma e comprimento. A inspeção visual foi feita manualmente, utilizando-se uma régua e uma lâmpada de mesa, sem a necessidade de microscópio óptico. Essa caracterização foi realizada no Laboratório de Ciências da Escola Estadual Nossa Senhora da Imaculada Conceição (EENIC) (escola dos alunos participantes do projeto), localizada no centro de Benjamin Constant.

Com base na natureza e quantidade de materiais encontrados foram formuladas estratégias de mitigação para o problema identificado, assim como foram discutidas medidas de conscientização da população e de autoridades locais sobre a gravidade do mesmo. Também foi realizada, junto aos estudantes participantes do projeto, uma reflexão acerca dos impactos da iniciação científica na melhoria de sua formação escolar, amadurecimento e crescimento profissional.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Identificação e caracterização de amostras de resíduo sólido polimérico

Ao se posicionar na área de coleta, os pesquisadores constataram de imediato a existência de muito resíduo sólido polimérico disperso aleatoriamente entre as gramíneas, abrangendo uma variedade de pontos dentro da área de várzea investigada. No entanto, é importante destacar que a concentração desses resíduos por unidade de área não era homogênea, ou seja, a densidade desses resíduos em alguns pontos era maior do que em outros, mas sem a existência de um padrão específico. Outra questão observada de início foi a grande variedade de tamanhos de amostras de resíduo sólido polimérico. Por exemplo, a Figura 4 ilustra parte do quadro de poluição ambiental encontrado dentro dessa área de coleta. É possível notar amostras de resíduos sólidos poliméricos de diversos tamanhos, desde amostras quase invisíveis a olho nu (aquelas menores ou muito menores do que 5,0 mm) até amostras consideradas grandes (superiores a 5,0 mm).

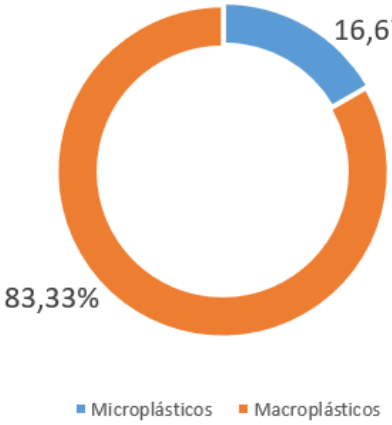
Figura 4 – Parte do quadro de poluição ambiental por resíduos sólidos poliméricos na área de várzea da orla do Rio Javari, em Benjamin Constant.



Fonte: Autores (2023).

Essa variedade de tamanho de amostras foi verificada na maioria dos pontos coletados dentro da área de trabalho delimitada. Dessa forma, e seguindo a definição de microplásticos estabelecida por autores recentes e de estimada relevância no tema, tais como Cole *et al.* (2011), Olivatto *et al.* (2018), Chatterjee & Sharma (2019), Alimba & Faggio (2019), e Yusuf *et al.* (2022), observou-se que em um total de 144 amostras coletadas na pesquisa de campo, foram encontrados não apenas micro, mas também macroplásticos, inclusive em quantidade superior ao número de amostras de microplásticos, tal como pode ser visto na Figura 5. Em termos quantitativos, 16,67% de amostras foram enquadradas como microplásticos, o equivalente a 24 amostras, enquanto 83,33% (ou 120 amostras) foram classificadas como representantes de macroplásticos.

Figura 5 – Classificação das amostras de resíduo sólido polimérico em micro e macroplásticos.



Fonte: Autores (2023).

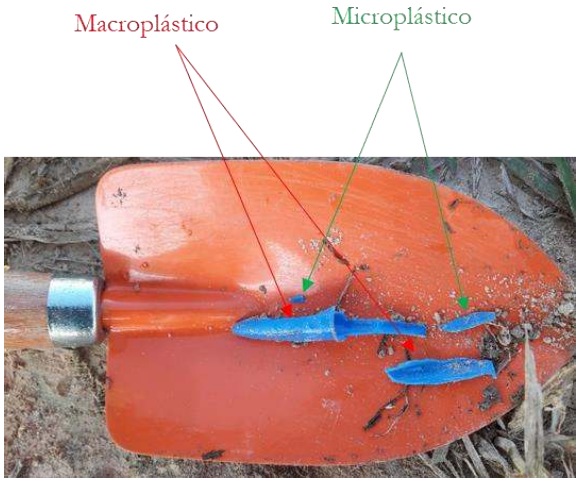
Embora existam muitas técnicas especializadas que permitem a identificação e a classificação de macro e microplásticos (Cole *et al.*, 2011; Yusuf *et al.*, 2022), utilizou-se nesse trabalho uma das mais simples existentes, que é a "inspeção visual" (Montagner *et al.*, 2021), conforme descrito na metodologia. Essa técnica foi escolhida por dois motivos principais, sendo o primeiro deles a ausência de recursos materiais e de infraestrutura adequada no laboratório de ciências da escola (local de caracterização do material coletado). O segundo motivo, e de maior relevância para a equipe executora, foi a simplicidade e rapidez do método, assim como a sua boa aceitabilidade na literatura como método de identificação e triagem inicial de microplásticos (Montagner *et al.*, 2021). Mesmo que seja uma técnica limitada e preliminar de identificação, ela permite uma análise subjetiva das características físicas das amostras quando não se dispõe de técnicas mais especializadas de análise (Andrady, 2011; Cole *et al.*, 2011; Montagner *et al.*, 2021). Contudo, foi justamente essa a intenção do trabalho, ou seja, tentar atingir os objetivos propostos fazendo uso apenas dos recursos e metodologias acessíveis e disponíveis na escola onde o projeto foi desenvolvido, uma vez que esta modalidade de projeto da Fapeam não disponibiliza recursos (verbas) de execução.

Além de permitir a classificação rápida dos materiais em micro ou macroplásticos, a inspeção visual de amostras revelou que, na maioria das vezes, os resíduos sólidos poliméricos existentes no meio ambiente em questão, e classificados pelos pesquisadores como microplásticos, se originavam de processos lentos de fragmentação. Essa fragmentação lenta, na maioria das vezes está associada a processos de envelhecimento físico ou químico dos polímeros constituintes de amostras plásticas (Silva, Berry & Costa, 2016; Silva, Nascimento & Da Costa, 2016; De Jesus Silva & Da Costa, 2019; De Jesus Silva *et al.*, 2020). Por exemplo, com o decorrer do tempo e sob ação da radiação solar (fotodegradação) e da presença se oxigênio (oxidação), o envelhecimento químico quebra as cadeias poliméricas a nível molecular, ocasionando, a nível macroscópico, a redução sucessiva do tamanho das amostras (Montagner *et al.*, 2021). Essa combinação de fenômenos degradativos chama-se intemperismo, o qual pode resultar na formação de microplásticos secundários (Montagner *et al.*, 2021).

Por outro lado, observou-se que houve também casos de amostras de microplásticos originadas de processos mais rápidos fragmentação, ou seja, a partir de choque mecânico ou atrito, tal como exemplificado na

Figura 6, o que caracteriza degradação física do material (Montagner *et al.*, 2021). Em todo caso, esses resultados expuseram claramente a existência de processos de formação de microplásticos em curso nessa área de várzea do rio Javari, em Benjamin Constant/AM, o requer atenção devido aos potenciais impactos ambientais.

Figura 6 – Microplásticos secundários resultantes de degradação física (choque mecânico).



Fonte: Autores (2023).

Entre as amostras encontradas e analisadas, foram registrados os seguintes tipos: fragmentos, fibras e objetos inteiros (Quadro 1). A totalidade de amostras classificadas como microplásticos pertencia ao grupo de amostras do tipo fragmentos (nesse caso, microfragmentos). Com relação às amostras classificadas como macroplásticos, foram criadas duas subdivisões: macrofragmentos e macrofibras. No caso dos macrofragmentos, o comprimento médio obtido foi de 20,99 ± 15,56 mm, enquanto para as macrofibras foi de 82,00 ± 22,51 mm. Já as amostras de microplásticos apresentaram um comprimento médio de 3,38 ± 1,55 mm.

Quadro 1 – Tipos de amostras de material polimérico encontradas na área de várzea investigada.

Tipos de amostra		**Quantidade**	**Descrição geral**
Microplásticos (microfragmentos)		24	Pedaços de material plástico com tamanhos de até 5,0 mm
Macroplásticos	Macrofragmentos	99	Pedaços de material plástico com tamanhos superiores a 5,0 mm
	Macrofibras	10	Pedaços de fibras plásticas com tamanhos superiores a 5,0 mm
Objetos inteiros		11	Peças plásticas intactas. Ex.: tampa de refrigerante, tampa de caneta, etc.

Fonte: Autores (2023).

Observa-se no Quadro 1 a predominância de amostras do tipo macrofragmentos, ou seja, pedaços de material dispostos no meio ambiente e com tamanho médio superior a 5,0 mm. Isso fez sentido, uma vez que antes de se tornarem microplásticos, objetos inteiros, por exemplo um copo descartável (Figura 7), se fragmentam em pedaços sucessivamente menores devido, por exemplo, ao intemperismo, que após um tempo transforma os macroplásticos em microplásticos, tal como explicado anteriormente. E esse tipo de material

(copo descartável, marmita descartável, sacolas plásticas, canudos, entre outros) são frequentemente descartados, de forma inadequada, por populares que consomem alimentos ou bebidas na região da orla portuária da cidade, o que justifica a maior incidência de amostras de macroplásticos no local. A geração de microplásticos a partir dos macroplásticos, diferentemente, leva mais tempo no meio ambiente e depende da ação combinada de fatores externos, tais como temperatura, umidade, atrito mecânico, entre outros.

Figura 7 – Processo de degradação de objeto plástico inteiro (macroplástico) em andamento.



Fonte: Autores (2023)

Embora o percentual de microplásticos encontrado com a metodologia utilizada tenha sido relativamente baixo, salienta-se que o método utilizado foi limitado a identificar microplásticos entre 1 e 5 mm. Sabe-se, porém, que há microplásticos dispersos em ambientes variados, incluindo os aquáticos, que podem abranger faixas de tamanho ainda muito menores, ou seja, da ordem μm ou mesmo nm (os nanoplásticos são plásticos com tamanho inferior a 0,1 μm, conforme Yusuf *et al.*, 2022), os quais necessitam de métodos bem mais especializados de análise para sua determinação e quantificação (Pegado *et al.*, 2018; Montagner, *et al.*, 2021; Da Silva *et al.*, 2022). Por outro lado, foi possível confirmar que parte significativa dos microplásticos existentes no meio ambiente avaliado se originam de processos de fragmentação lentos de objetos inteiros, tais como copos, marmitas e sacolas, que com o passar do tempo sofrem um processo de redução sucessiva do tamanho de fragmentos (Figuras 7 e 8), formando microplásticos que estão poluindo o rio e que correm o risco de entrar na cadeia alimentar de organismos aquáticos como peixes, camarões e outros animais.

Nesse sentido, os 16,67% de microplásticos encontrados no rio Javari denunciam a existência de processos de formação desses materiais em curso nesse local, os quais estão associados diretamente com o descarte de resíduos sólidos poliméricos nesse ambiente por pessoas que o frequentam (trabalhadores locais, feirantes, turistas, donos de estabelecimentos comerciais próximos da área portuária de Benjamin Constant, entre outros). A presença desses microplásticos nesse local também indica a ausência do manejo adequado dos resíduos sólidos poliméricos no município em questão, seja por parte do poder público ou das pessoas que ali desenvolvem seus trabalhos cotidianos.

Figura 8 – Microplásticos coletados na orla do rio Javari, em Benjamin Constant/AM.



Fonte: Autores (2023).

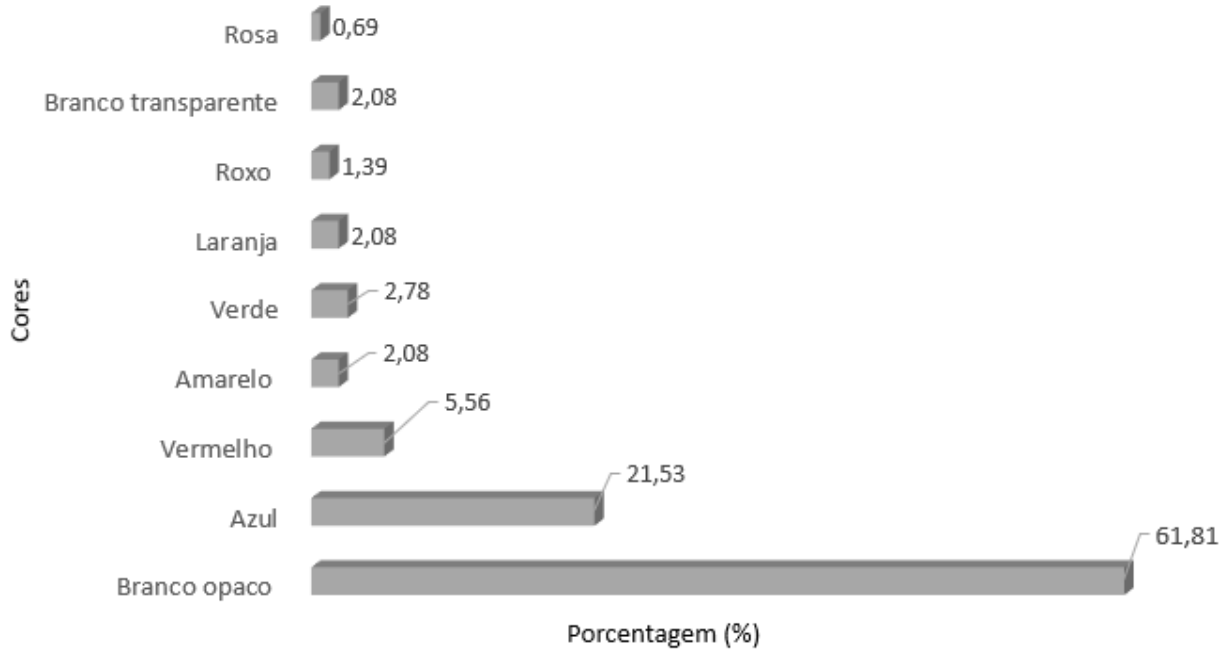
Ao mesmo tempo, os resultados sugerem que o controle dessa poluição pode colaborar significativamente na redução da formação de mais microplásticos nesse local, uma vez que grande parte das amostras de microplásticos encontradas parecem estar sendo originadas de pedaços maiores de plástico que estão se fragmentando sob ação de intemperismo ou de outros fatores. Caso essa poluição não seja controlada, a formação de microplásticos poderá ser mantida ou, ainda pior, dispersada para outras regiões através da correnteza do rio, afetando uma área muito mais ampla desse e de outros ecossistemas aquáticos.

3.2. Perfil de cores das amostras

Com relação à cor, a gráfico da Figura 9 mostra que houve predominância do branco opaco, que apareceu em 61,81% das amostras avaliadas. Contudo, houve também a incidência de amostras coloridas com cores variadas, entre elas: azul, vermelho, amarelo, verde, laranja, roxo e rosa. Com exceção do azul e do vermelho, que apareceram em 21,53% e 5,56% das amostras, respectivamente, as demais cores apareceram em percentuais inferiores a 3%.

Embora a cor branca em amostras tenha sido relatada na literatura como consequência de descoloramento devido ao envelhecimento sob ação de radiação UV, ou relacionada ao tempo de permanência no ambiente aquático (amostras amareladas geralmente indicam longos tempos de exposição ao meio) (Da Silva *et al.*, 2022; Da Silva Paes *et al.*, 2022), acredita-se, no caso em questão, que esse percentual elevado de ocorrência de amostras de cor branca esteja relacionado preferencialmente à presença, quase que uniforme, de objetos descartáveis (copos, facas, colheres, garfos e pratos) no local. Devido à ação do tempo e de fatores de envelhecimento outrora mencionados, esses objetos plásticos estão se transformando, através de fragmentação sucessiva, em microplásticos, os quais poderão adentrar o leito do rio pela ação das chuvas e da elevação do nível das águas do rio.

Figura 9 – Porcentagem de ocorrência de diferentes cores nas amostras de microplástico avaliadas.



Fonte: Autores (2023).

Embora não pareça existir uma cor de microplástico mais ou menos chamativa quanto à probabilidade de ingestão por organismos aquáticos, autores têm relatado a presença principalmente de amostras coloridas no trato intestinal, estômago ou guelra de peixes e de outros animais marinhos (Da Silva Paes *et al.*, 2022; Monteiro, Do Sul & Costa, 2023). Isso ocorre porque os microplásticos coloridos podem confundir os animais mais facilmente, os quais acreditam que esse material presente na água seja para eles algum tipo de alimento.

3.3. Impactos na aprendizagem e percepção dos estudantes participantes da pesquisa

Nas edições anuais do PCE, cada professor participante pode submeter um projeto de pesquisa, o qual pode vir a contemplar uma bolsa de pesquisa ao professor coordenador, e até três outras bolsas para alunos de Iniciação Científica e Tecnológica que participarão do projeto, os chamados bolsistas de ICT/Jr (Fapeam, 2023). A edição de 2022 contou com 1.811 projetos inscritos e selecionou 700 deles para serem executados nas escolas estaduais do Amazonas e em escolas municipais de Manaus (Martins, 2022).

Apesar da prática IC no ensino médio ainda não ser explorada da forma como deveria, ela está prevista na BNCC (Brasil, 2018) e no novo Ensino Médio (NEM) (Brasil, 2022). Em termos práticos, a IC ensina o estudante a aplicar o método científico em um problema prático, preferencialmente do seu meio e/ou localidade, como é o caso dos microplásticos na região em questão. Dessa forma, ela estimula novos talentos dentro da escola, ao mesmo tempo em que mostra ao estudante o valor da ciência como ferramenta de desenvolvimento da sociedade. A longo prazo, a IC promove amadurecimento do pensamento crítico, melhora o desempenho acadêmico dos alunos e aumenta as chances de eles ingressarem em cursos de pós-graduação *lato* ou *stricto sensu* após sua formação em nível de graduação (Oliveira, 2017; Lima, 2023).

Na pesquisa em questão, participaram dois estudantes de IC, concluintes da terceira série do ensino médio no ano de 2022, aqui denominados de "Estudante A" e "Estudante B" (Quadro 02). Ao final do projeto, eles preencheram um relatório final de pesquisa exigido pela fundação financiadora, no qual uma questão os indagou sobre a seguinte ponto: "*No geral, em termos de sua capacitação, amadurecimento, crescimento profissional, como você avalia as atividades desenvolvidas?"*, conforme mostra o Quadro 02.

Quadro 02 – Respostas dos alunos bolsistas de ICT/Jr.

Estudante A	*Um projeto muito bom de se estudar, e também muito importante para nossa sociedade devido ao fato de que nós, seres humanos, as vezes não temos a consciência de quão perigoso é despejar plásticos em nosso meio ambiente, provocando poluição para com nós mesmos. Temos que fazer algo para minimizar essa poluição por microplásticos para que isso não comprometa o futuro do nosso planeta. Acredito que é só isso que tenho a dizer.*
Estudante B	*Foi um projeto muito importante para o meu crescimento escolar e intelectual, me ajudando a desenvolver o senso crítico que estava sendo esquecido na minha personalidade como ser humano.*

Fonte: Autores (2023).

Ao se analisar as respostas dos dois alunos, observa que ambos tiveram uma boa compressão da importância do projeto quanto ao enriquecimento da formação escolar que receberam no ensino médio e no estímulo do senso crítico. Ou seja, houve uma sensibilização desses estudantes quanto à seriedade do problema que está ocorrendo no local em que eles nasceram, cresceram e ainda residem atualmente. Isso certamente os instigou a se tornarem protagonistas na busca por soluções para esse problema, em prol do bem-estar e da saúde de sua comunidade, e em favorecimento da biodiversidade local, especialmente em relação às espécies aquáticas.

Apesar do alinhamento comum de ideias gerais sobre o problema dos microplásticos em seu município, as respostas dos dois estudantes evidenciaram percepções diferenciadas, ou seja, enquanto o "Estudante B" focou sua resposta principalmente numa perspectiva de evolução crítica individual em relação ao tema, o "Estudante A" demonstrou uma percepção mais ampla e amadurecida. Tal percepção é notada quando este estudante relaciona o problema dos microplásticos não apenas à sua localidade, mas expande-o para a sociedade como um todo. De fato, os microplásticos já são, desde algumas décadas, uma ameaça de dimensões globais (Olivatto *et al.*, 2018; Yusuf, 2022; Do Amparo *et al.*, 2023) e, portanto, precisam ser tratados com responsabilidade de proporção equivalente.

Não obstante, o "Estudante A" vai além e enfatiza que "*Temos que fazer algo para minimizar essa poluição por microplásticos para que isso não comprometa o futuro do nosso planeta*", deixando claro sua intenção em protagonizar mudanças não apenas de posicionamento crítico, mas também atitudinais, tão necessárias às gerações de jovens atuais. Em um futuro muito breve, será essa geração de indivíduos que irá conduzir as políticas de preservação ambiental e desenvolvimento sustentável mundo afora. Portanto, a escola, enquanto instituição educadora e formadora de opinião, assume papel crucial na formação humana, crítica e social desses jovens, os quais serão para o planeta os protagonistas das mudanças do amanhã.

Os microplásticos estão cada vez mais presente na vida humana da era moderna (antropoceno). O potencial de danos à saúde humana e de outros animais, assim como os locais de ocorrência sequer foram

totalmente elucidados pelos cientistas, o que justifica o impacto científico de pesquisas nessa área. Portanto, acredita-se que os resultados desta pesquisa tenham sensibilizado o público-alvo principal quanto à gravidade do problema em questão e da necessidade de tomadas de decisões no sentido reduzir a contaminação do rio Javari, em Benjamin Constant/AM, por mais microplásticos.

Ademais, foi possível melhorar o processo de ensino e aprendizagem de conteúdos ligados ao ensino de química de nível médio (polímeros, plásticos, microplásticos, poluição ambiental, desenvolvimento sustentável e etc.). Esses são temas atuais e interdisciplinares importantes na formação dos estudantes, os quais estão alinhados às demandas da BNCC e do Novo Ensino Médio no contexto da área de ciências da natureza e suas tecnologias.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A pesquisa foi capaz de identificar e caracterizar microplásticos, bem como macroplásticos, presentes na área de várzea formada na margem do rio Javari, em Benjamin Constant, Amazonas. Entre os materiais coletados e analisadas (144 amostras), os macroplásticos foram encontrados em quantidade superior aos microplásticos, ou seja, 16,67% das amostras foram enquadradas como microplásticos, enquanto 83,33% como macroplásticos. Em relação ao tipo, a totalidade de amostras classificadas como microplásticos pertencia à categoria fragmentos. As amostras identificadas como macroplásticos foram subclassificadas em macrofragmentos e macrofibras. No caso dos macrofragmentos, o comprimento médio determinado foi de 20,99 ± 15,56 mm, enquanto para as macrofibras foi de 82,00 ± 22,51 mm. Já os microplásticos apresentaram fragmentos com comprimento médio de 3,38 ± 1,55 mm.

Foi possível identificar a presença de microplásticos na região investigada, abrindo caminho para futuras pesquisas relacionadas ao tema. A classificação dos materiais em micro e macroplásticos foi importante tanto no sentido de confirmar a poluição do meio ambiente local por esses materiais quanto em relação à identificação das fontes poluidoras primárias (origem dos microplásticos). No contexto do processo de ensino e aprendizagem, a pesquisa teve um impacto significativo no desenvolvimento acadêmico dos estudantes envolvidos, demonstrando o impacto positivo da iniciação científica no ensino médio.

Os resultados da pesquisa sugerem que medidas de proteção ambiental e desenvolvimento urbano sustentável são urgentes no município. Além disso, observou-se a necessidade de realização de novos projetos na mesma temática, com o objetivo de aprofundar outros aspectos associados ao problema dos microplásticos nesse local. Por exemplo, estudos para elucidar os polímeros constituintes desses materiais, investigações sobre a ocorrência de microplásticos no organismo de peixes e outros animais da região, análise de possíveis micropoluentes adsorvidos, entre outras questões.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM) pelo suporte financeiro ao projeto (bolsas de estudo), no âmbito Programa Ciência na Escola (PCE, edição 2022), à SEDUC/AM e ao Governo do Amazonas pelo apoio à realização desta pesquisa científica no interior de estado.

Conflitos de interesses

Os autores declaram que não há conflitos de interesse. Todos os autores estão cientes da submissão do artigo.

Contribuições dos autores

Karen Cristine Braulio da Silva e Tarike Manuel Meneses Tananta: bolsistas de iniciação científica e tecnológica júnior da FAPEAM. Participação na execução da pesquisa e análise de dados.

Edson Oliveira dos Santos, Elenilson Silva de Oliveira: colaboradores nas etapas de análise de dados, redação do artigo e revisões do texto e conteúdo.

Agmar José de Jesus Silva: planejamento da pesquisa e elaboração do projeto, supervisor da execução (coleta e análise de dados), redação do manuscrito, responsável pelas correções, revisões e trâmites da submissão na plataforma da revista.

REFERÊNCIAS

Alimba, C. G., & Faggio, C. (2019). Microplastics in the marine environment: current trends in environmental pollution and mechanisms of toxicological profile. *Environmental toxicology and pharmacology*, 68, 61-74. https://doi.org/10.1016/j.etap.2019.03.001

Andrady, A. L. (2011). Microplastics in the marine environment. Marine pollution bulletin, 62(8), 1596-1605. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.05.030

Araújo Neto, J. O. (2023). Entenda como o mar de plástico afeta a vida marinha. Blog Ecycle, [s.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/2092-mar-de-plastico.html>. Acesso em: 23 dec. 2023.

Belo, I. C. B., De Andrade, B. N. P., Miranda, J. P. A., & Drumond, P. C. (2021). Microplásticos, seus Impactos no Ambiente e Maneiras Biodegradáveis de Substituição. *Revista Internacional de Ciências*, 11(2), 214-228. https://doi.org/10.12957/ric.2021.54481

Brasil. (2018). Ministério da Educação (MEC). Base Nacional Comum Curricular – BNCC. Brasília, DF: Ministério da Educação. Disponível em: http://basenacionalcomum.mec.gov.br/. Acesso em: 30 de dezembro 2023.

Brasil. (2022). Programa Novo Ensino Médio. Disponível em: https://pddeinterativo.mec.gov.br/novo-ensino-medio. Acesso em: 30 de dezembro 2023.

Canevarolo Jr, S. V. (2002). *Ciência dos polímeros. Um texto básico para engenheiros*. (1. ed.). São Paulo: Editora Artliber.

Chatterjee, S., & Sharma, S. (2019). Microplastics in our oceans and marine health. *Field Actions Science Reports. The Journal of Field Actions*, (Special Issue 19), 54–61. http://journals.openedition.org/factsreports/5257

Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C., & Galloway, T. S. (2011). Microplastics as contaminants in the marine environment: a review. *Marine pollution bulletin*, 62(12), 2588-2597. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2011.09.025

Da Silva, D. do C., Vieira, H. A. G., Rolim, V. S., Da Silva, W. F., De Sousa, M. G., Paulino, M. G., & Dos Santos Mariano, W. (2021). Contaminantes ambientais: efeitos dos microplásticos em organismos aquáticos e terrestres. *Research, Society and Development*, 10(7), p. 1-9, e54310716761
http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i7.16761

Da Silva, E. F., Do Carmo, D. de F., Muniz, M. C., Dos Santos, C. A., Cardozo, B. B. I., De Oliveira Costa, D. M., Dos Anjos, R. M., & Vezzone, M. (2022). Evaluation of microplastic and marine debris on the beaches of Niterói Oceanic Region, Rio De Janeiro, Brazil. *Marine Pollution Bulletin*, 175, p. 1-10, 113161.
https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2021.113161

Da Silva Paes, E., Gloaguen, T. V.; Da Conceição Silva, H. dos A.; Duarte, T. S.; De Almeida, M. da C., Costa, O., Del'Arco. V., Bomfim, M. R.; & Santos, J. A. G. (2022). Widespread microplastic pollution in mangrove soils of Todos os Santos Bay, northern Brazil. *Environmental Research*, 210, 112952.

De Araújo, T. V. M.; Alves, C. N.; Abreu, B. R.; Melo, S. C.; Ponte, F. K. S.; Castro, S. P.; & Alves, H. P. (2019). Microbiological analysis of surface waters in the "Igarapé Esperança" water resources in Benjamin Constant-AM. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science,* 6(7), 640–645.
https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.6772

De Araújo, T. V. M., Alves, C. N., Barbosa, S. M., De Castro, S. P., & Da Ponte, F. K. S. (2021). The occurrence of heavy metals in a water resource in Benjamin Constant, Amazonas, Brazil. *Brazilian Journal of Development*, 7(2), 19801-19813. https://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-565

De Azevedo, R. P. (2016). Um retrato do saneamento básico das cidades de Benjamin Constant e Tabatinga no Amazonas: 25 anos depois da cólera. *46ª Assembleia Nacional da Associação Nacional dos Serviços Municipais de Saneamento, 2016, Jaraguá do Sul - SC. Saneamento básico: um direito de todos*. Jaraguá do Sul, Santa Catarina, 1, 1204–1211.

De Jesus Silva, A. J. (2017). *Avaliação do envelhecimento do poli(fluoreto de vinilideno) (PVDF) visando aplicações em estruturas para contato com etanol combustível*. 226 f. Tese de Doutorado (Engenharia Metalúrgica e de Materiais, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ).
Disponível em: https://pantheon.ufrj.br/handle/11422/9546

De Jesus Silva, A. J., Contreras, M. M., Nascimento, C. R., & Da Costa, M. F. (2020). Kinetics of thermal degradation and lifetime study of poly (vinylidene fluoride) (PVDF) subjected to bioethanol fuel accelerated aging. *Heliyon*, 6(7), e04573. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04573

De Jesus Silva, A. J., & Da Costa, M. F. (2019). Avaliação mecânica de materiais poliméricos utilizando indentação instrumentada (TII): Revisão de conceitos e estudo de caso. Revista de Engenharia e Tecnologia, 11(4), 176-192.

De Jesus Silva, A. J., & Da Silva Egas, V. S. (2022). Percepção da importância do uso de atividades experimentais na aprendizagem de química de um grupo de estudantes concluintes do ensino médio em uma escola pública em Tefé/AM. *Revista Insignare Scientia-RIS*, 5(1), 209–234.
https://doi.org/10.36661/2595-4520.2022v5n1.12155

De Jesus Silva, A. J., Noronha, E. F., Lira, N. J. R., De Castro, S. P., & De Sousa, B. M. (2022). Identificação e caracterização de materiais poliméricos descartados indevidamente em um igarapé na região urbana central de Benjamin Constant/AM. *Journal of Education Science and Health*, 2(3), 1–21.
https://doi.org/10.52832/jesh.v2i3.141

De Melo, B. B., Lima, R. A., & De Araújo Pantoja, T. M. (2019). Ocorrência e interferências antrópicas sobre Pteronura brasiliensis (Mammalia, carnívora) no Igarapé Esperança, em zona urbana de Benjamin Constant-AM, Brasil. *Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental*, 8(1), 641–662.

https://doi.org/10.19177/rgsa.v8e12019641-662

Do Amparo, S. Z., Carvalho, L. D. O., Silva, G. G., & Viana, M. M. (2023). Microplastics as contaminants in the Brazilian environment: an updated review. *Environmental Monitoring and Assessment*, 195(12), 1414. https://doi.org/10.1007/s10661-023-12011-0

Fapeam. (2023). Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas. Disponível em: https://www.fapeam.am.gov.br/programas/pce-programa-ciencia-na-escola/. Acesso em 30/12/2023.

Figueiredo, A. M., & Souza, S. R. G. (2008). *Como elaborar projetos, monografias, dissertações e teses: da redação científica à apresentação do texto final.* (2. ed.). Rio de Janeiro: Editora Lumen Juris.

Gomes, É. E., Coelho, R. C., Pinheiro, R. C., Oliveira, R. dos S. C., Oliveira dos Santos, E., Silva de Oliveira, E., & De Jesus Silva, A. J. (2023). Igarapés como espaço educacional não formal para estudantes de uma escola pública no interior do Estado do Amazonas, Brasil. *Journal of Education Science and Health*, 3(3), 01–19. https://doi.org/10.52832/jesh.v3i3.174

Higuchi, M. I. G.; Calegare, M. G. A.; Porto, M. L. S. G.; Lima, M. B. D. F.; & Feitosa, R. M. F. (2011). Diagnóstico socioambiental do município de Benjamin Constant/AM, Relatório Técnico do Projeto Dinâmica do Carbono da Floresta Amazônica (CADAF), p. 1–103, Manaus, AM.

Lima, C. C. (2012). *Gestão de resíduos plásticos na cidade de Manaus à luz da política nacional de resíduos sólidos: Uma contribuição à implantação de logística reversa*. 201 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-graduação em Direito Ambiental, Universidade do Estado do Amazonas, UEA).
Disponível em: http://repositorioinstitucional.uea.edu.br/handle/riuea/2064?mode=full

Lima, N. J. F. (2023). Iniciação científica na área de ciências da natureza no ensino médio e a formação do estudante pesquisador. 137 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências Exatas da, Universidade Vale do Taquari, UNIVATES).

Mano, E. B.; & Mendes, L. C. (1999). *Introdução a polímeros.* (2. ed.). São Paulo: Edgard Blücher.

Martins, E. (2022). Fapeam divulga lista de propostas enquadradas no PCE. Disponível em: https://www.fapeam.am.gov.br/fapeam-divulga-lista-de-propostas-enquadradas-no-pce/. Acesso em 30/12/2023.

Mesquita, Y. W., Mengatto, M. F., & Nagai, R. H. (2022). Where and how? A systematic review of microplastic pollution on beaches in Latin America and the Caribbean (LAC). *Environmental Pollution*, 120231. https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120231

Montagner, C. C., Dias, M. A., Paiva, E. M., & Vidal, C. (2021). Microplásticos: Ocorrência Ambiental e Desafios Analíticos. *Química Nova*, 44(10), 1328-1352. http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20170791

Monteiro, R. C. P., Do Sul, J. A. I., & Costa, M. F. (2020). Small microplastics on beaches of Fernando de Noronha Island, tropical atlantic ocean. *Ocean and Coastal Research*, 68, p. 1-10, e20235. http://dx.doi.org/10.1590/S2675-28242020068235

Mota, G. A., Batista, L. M., & Cunha, C. de O. (2021). Impactos dos microplásticos na saúde aquática e humana. Journal Archives of Health, 2(4), p. 1105–1108. https://ojs.latinamericanpublicacoes.com.br/ojs/index.php/ah/article/view/574.

Olivatto, G. P., Carreira, R., Tornisielo, V. L., & Montagner, C. C. (2018). Microplásticos: Contaminantes de preocupação global no Antropoceno. *Revista Virtual de Química*, 10(6), 1968-1989. https://doi.org/10.21577/1984-6835.20180125

Oliveira, F. P. Z. D. (2017). Pactos e Impactos da Iniciação Científica na formação dos estudantes do Ensino Médio. 2017. 343 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-graduação em Educação Científica Tecnológica, Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC).

Pegado, T. de S. e S.; Schmid, K., Winemiller, K. O., Chelazzi, D., Cincinelli, A., Dei, L., & Giarrizzo, T. (2018). First evidence of microplastic ingestion by fishes from the amazon river estuary. *Marine Pollution Bulletin*, 133, 814–821, 2018. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.06.035

Silva, A. J. de J., Pereira Lopes, A., da Silva, A. T. O., Maurício, A. da C. ., da Silva Santana, F. F. ., Silva, C. M., dos Santos, G. G. ., & Lourenço, I. R. . (2021). Tempos de pandemia: efeitos do ensino remoto nas aulas de química do ensino médio em uma escola pública de Benjamin Constant, Amazonas, Brasil. *Journal of Education Science and Health*, 1(3). https://doi.org/10.52832/jesh.v1i3.36

Silva, A. J. J., Berry, N. G., & Costa, M. F. (2016). Structural and thermo-mechanical evaluation of two engineering thermoplastic polymers in contact with ethanol fuel from sugarcane. *Materials Research,* 19(1), 84-97. http://dx.doi.org/10.1590/1980-5373-MR-2015-0480

Silva, A. J. de J. (2020). Análise de variáveis e determinação do grau de inchamento do extrudado durante o processamento de um grade de polipropileno industrial. *South American Journal of Basic Education, Technical and Technological*, 7(2), 03–22.

Silva, A. J. J., Nascimento, C. R., & Da Costa, M. F. (2016). Thermomechanical properties and long-term behavior evaluation of poly (vinylidene fluoride) (PVDF) exposed to bioethanol fuel under heating. *Journal of Materials Science*, 51(19), 9074-9094. https://doi.org/10.1007/s10853-016-0159-2

Yusuf, A., Sodiq, A., Giwa, A., Eke, J., Pikuda, O., Eniola, J. O., Ajiwokewu, B., Sambudi, N. S., & Bilad, M. R. (2022). Updated review on microplastics in water, their occurrence, detection, measurement, environmental pollution, and the need for regulatory standards. *Environmental Pollution*, *292*, 118421.